

補助事業番号 2022M-253

補助事業名 2022年度 レーザ分光とX線CT技術を駆使した燃料電池複合オペランド計測システムの開発 補助事業

補助事業者名 京都工芸繊維大学 西田 耕介

1 研究の概要

固体高分子形燃料電池（PEFC）の更なる高性能化に向けて、電池内部の物質輸送や反応メカニズムを解明することは極めて重要であり、そのための計測診断技術の確立は不可欠である。そこで本研究では、波長可変半導体レーザ吸収分光法（TDLAS法）、蛍光消光法およびマイクロフォーカスX線CT技術を応用させることにより、実作動環境下における燃料電池ガス流路内の水蒸気、酸素濃度分布ならびに多孔質電極内の液水分布を高速・高精度かつin-situ（その場）で測定できる「燃料電池複合オペランド計測システム」の開発を行った。その結果、PEFC流路内の水蒸気・酸素濃度を、 $\pm 0.2 \text{ mol}\%$ および $\pm 0.07 \text{ mol}\%$ の精度、0.1~1秒の時間分解能で測定することに成功した。また、多孔質電極内の液水分布を $7.7 \cdot \text{m}/\text{pixel}$ で撮影可能にした。

2 研究の目的と背景

高出力密度、低温作動等の特長を有する「固体高分子形燃料電池（PEFC）」は、移動体用動力源や定置型分散電源として実用化が進められている。しかしながら、PEFCの更なる高効率化・高耐久化に向けて解決すべき技術的課題は未だ多く、①反応ガスの安定的な供給と②生成水の迅速的な排出は極めて重要である。これらの課題の解決を図るためには、電池内部で生じている物質移動現象（水分・酸素等）や反応メカニズムの包括的な理解が不可欠であり、そのための計測・診断技術の確立は、産業界からも強く求められている。そこで本研究では、実作動状態の燃料電池（PEFC）において、ガス流路および多孔質電極内の水蒸気・酸素・液水分布を同時にモニタリングできるようにするため、レーザ吸収分光法、蛍光消光法、マイクロX線CT技術を導入した「燃料電池複合オペランド計測システム」を開発することを目的とした。

3 研究内容 (http://www.thermolab.kit.ac.jp/image/R4_jka.pdf)

(1) TDLAS法によるガス流路内の水蒸気分布測定技術の開発

波長可変半導体レーザ吸収分光法（TDLAS法）を応用することにより、固体高分子形燃料電池（PEFC）ガス流路内の水蒸気濃度分布を高速・高感度かつin-situ（その場）で定量測定できる「光ファイバ型レーザガス分析システム」（図1）の開発を進めた。本計測システムでは、複数の送受一体型光ファイバプローブを燃料電池内に配置し、レーザ光を流路内に直接照射させている。電極表面からの反射光を検出器で受光し、水分の吸収スペクトル信号を高感度で検波することにより、ガス流路内の水蒸気濃度を0.1秒の高速応答かつ

±0.2 mol%の精度でリアルタイム測定できるようにした。

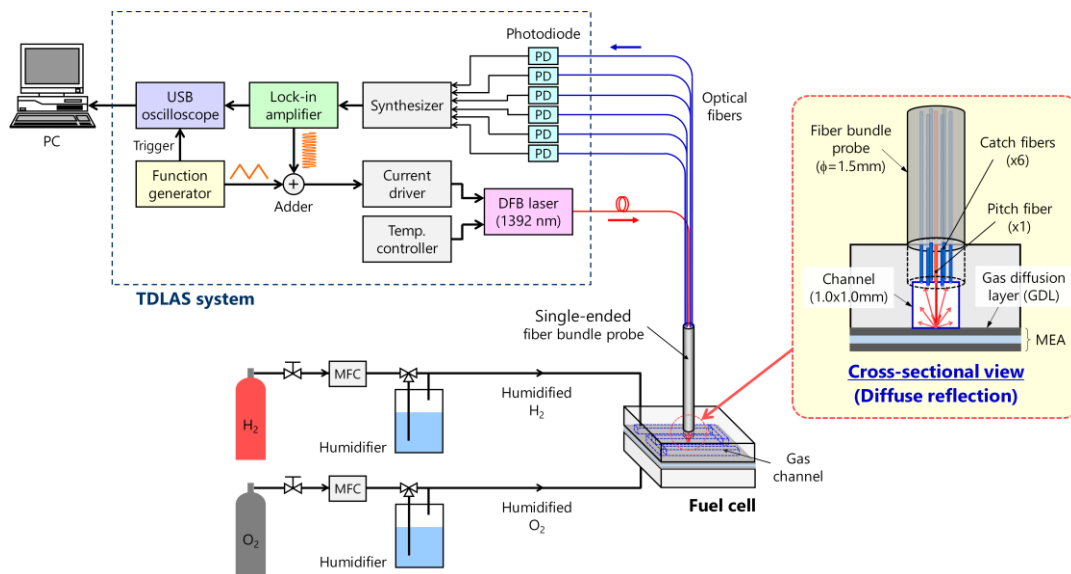


図1 TDLAS法を応用した「光ファイバ型レーザガス分析システム」の概略図

(2) 蛍光消光法によるガス流路内の酸素分布測定技術の開発

酸素分子との衝突により蛍光体の発光強度が低下する「蛍光消光法」を応用することにより、燃料電池（PEFC）流路内の酸素濃度分布を直接モニタリングすることが可能な「プローブ式酸素濃度計測システム」（図2）の開発を進めた。本計測システムでは、蛍光色素標識剤を塗布した光ファイバプローブを流路内に配置し、LED光源からの発振光を標識剤に向けて照射させている。標識剤からの蛍光発光の位相シフト（寿命時間）から測定場の酸素濃度を推定し、流路内の酸素濃度分布を1秒の応答時間かつ±0.07 mol%の精度で連続測定できるようにした。

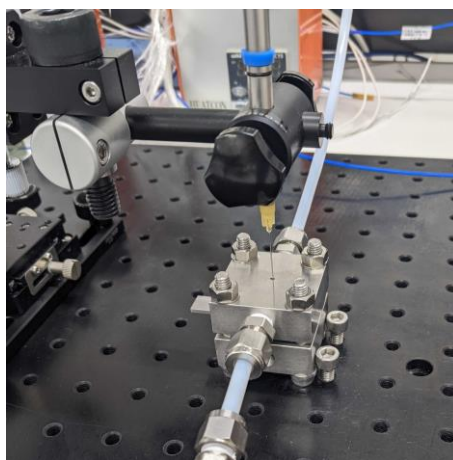


図2 蛍光消光法を応用した「プローブ式酸素濃度計測システム」の外観写真

(3) マイクロX線CTによる多孔質電極内の液水分布計測技術の開発

マイクロフォーカスX線CT装置（現有設備）を活用することにより、発電状態PEFCの多孔質電極内における液水挙動を空間分解能 $7.7 \mu\text{m}/\text{pixel}$ でイメージングできるようにした（図3）。さらに、X線ラジオグラフィ法およびデジタル画像処理技術により、PEFCカソード拡散電極内の液水飽和率分布の定量評価を行った。

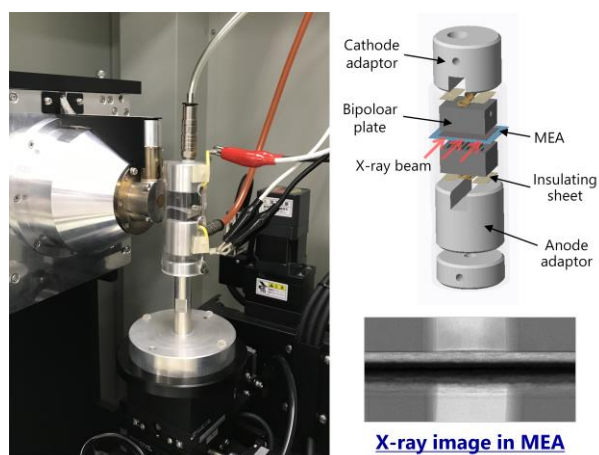


図3 マイクロX線CTを用いたPEFC多孔質電極内の液水分布計測

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

持続可能な低炭素社会の実現を図るには、燃料電池をはじめとする革新的エネルギー技術の開発、導入が必要不可欠とされている。しかしながら、燃料電池の本格的普及のためには、現在商品化が進められているレベルよりも格段の性能向上、長寿命化及び低コスト化が求められており、そのための基礎・基盤的な研究開発を積極的に推進する必要がある。

本研究で開発を進めた計測システムは、発電状態の燃料電池内における物質移動（水分・酸素）や反応メカニズムを物理現象に即して解明することを可能とし、反応ガスの安定供給と水管理問題の解決が不可欠な燃料電池の研究開発現場において、電池の飛躍的な高効率化、長寿命化のためのブレークスルーになり得ると期待できる。従って、本研究開発終了後の事業化、すなわち計測機器メーカーへの技術移転と、燃料電池関連企業（自動車メーカー等）や研究機関への導入・普及は、迅速に行われる可能性が高い。それにより、燃料電池自動車や家庭用燃料電池システムの量産化が進み、国民生活の中に広く浸透、普及されるようになれば、産業、経済、社会への波及効果は極めて大きいと考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業の研究担当者は、これまでに燃料電池の研究開発に関わる様々なプロジェクトに参画した経験を有し、中でも、光学的手法、X線ラジオグラフィ法、レーザー利用診断法（PIV・TDLAS）、赤外線画像診断法に基づいて燃料電池内のガス流速、濃度、温度分布を明

らかにする計測評価技術の開発を精力的に推進してきた。本研究事業は、これまでの研究開発実績をベースとして立ち上げたプロジェクトである。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(1) 特許

特になし

(2) 発表論文

- ・ K. Nishida, Y. Kono, R. Funaoka, T. Furukawa, Acceleration of through-plane water removal in polymer electrolyte fuel cell by channel hydrophilization and electrode perforation, *J. Power Sources Adv.*, Vol.16 (2022), 100102.
- ・ K. Nishida, N. Yamaya, H. Yin, T. Umekawa, M. Kawasaki, Correlative Evaluation between Water Concentration and Voltage Fluctuation of PEFC Under Low-Humidity and Load-Change Operations Based on Laser Spectroscopy, *ECS Transactions*, Vol. 109, No. 9 (2022), pp. 219–226.
- ・ R. Kaneko, T. Furukawa, K. Nishida, Effect of Compression Pressure on Water Removal and Power Generation Performance of PEFC with Modified Electrode/Channel Structure, *ECS Transactions*, Vol.109, No. 9 (2022), pp. 127–133.
- ・ 西田耕介, 固体高分子形燃料電池の内部現象解明に資する水分計測技術, スマートプロセス学会誌, Vol. 12, No. 3 (2023), pp. 123–130.

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

特になし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：京都工芸繊維大学（キョウトコウゲイセンイダイガク）

住 所：〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町

担 当 者：准教授 西田 耕介（ニシダ コウスケ）

担 当 部 署：機械工学系（キカイコウガクケイ）

E - m a i l : knishida@kit.ac.jp

U R L : <http://www.thermolab.kit.ac.jp>